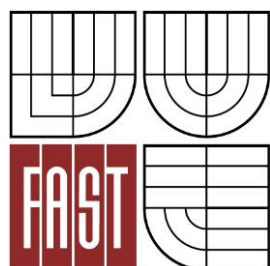




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

OPRAVA A ZESÍLENÍ ŽELEZOBETONOVÉ STROPNÍ KONSTRUKCE

RECONSTRUCTION AND STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE CEILING
CONSTRUCTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

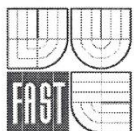
BC. ONDŘEJ EHRENBARGER

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN PERLA

BRNO 2015




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

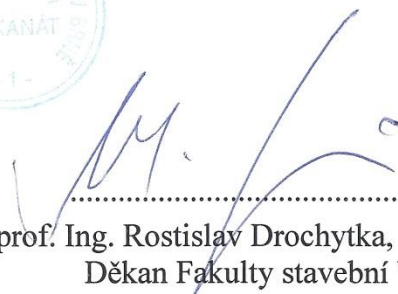
Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav betonových a zděných konstrukcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Ondřej Ehrenberger
Název	Oprava a zesílení železobetonové stropní konstrukce
Vedoucí diplomové práce	Ing. Jan Perla
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2014
Datum odevzdání diplomové práce	16. 1. 2015

V Brně dne 31. 3. 2014


.....
prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.
Vedoucí ústavu


.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT



Podklady a literatura

Podklady:

Situace, řezy, půdorysy, projekt nosných konstrukcí, poškození nosné konstrukce, IGP

Základní normy (včetně všech změn a doplňků):

ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991: Zatížení konstrukcí (část 1-1, 1-3 až 1-7)

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN 73 1201: Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb

ČSN ISO 13822 - Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí

Literatura:

podle doporučení vedoucího diplomové práce

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Návrh zesílení stropní desky s nadměrným průhybem vzniklým při realizaci dvoupodlažního objektu.

Podrobný výpočet konstrukce podle pokynů vedoucího diplomové práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje průvodní zprávu a ostatní náležitosti dle níže uvedených směrnic).

Výkresová část:

- výkresy tvaru zesilovaných konstrukcí předmětného podlaží včetně případného montážního podepření;

- výkresy výztuže upravovaných a zesilovaných prvků.

Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce).

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x).

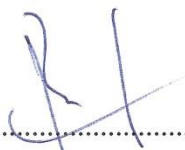
Popisný soubor závěrečné práce (1x).

Diplomová práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě podle směrnic a 1x na CD.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Jan Perla
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá řešením opravy a zesílení stropní konstrukce porušené nadměrným průhybem. Cílem práce je navrhnout zesílení stropní konstrukce vhodnou metodou. Návrh obsahuje výpočet předpětí a odpovídajících ztrát. Výpočet vnitřních sil byl proveden pomocí výpočetního programu RFEM. Posouzení bylo provedeno podle mezních stavů.

Klíčová slova

Stropní konstrukce, zesílení, dodatečné předpětí, ztráty předpětí, ohyb, předpjatý beton, kotevní oblast, mezní stav použitelnosti, mezní stav únosnosti

Abstract

This thesis addresses the repair and reinforcement of ceiling construction disturbed by excessive deflection. The aim is to design a gain ceiling structures suitable method. The proposal includes a calculation of prestressing losses. Calculation of internal forces was carried out using a computer program RFEM. The assessment was carried out according to limit states.

Keywords

Ceiling structures, reinforcement, additional prestressing, prestressing losses, bend, prestressed concrete, anchoring area, limit state, the ultimate limit state

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Ondřej Ehrenberger *Oprava a zesílení železobetonové stropní konstrukce*. Brno, 2015. 33 s., 82 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Jan Perla

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 16.1.2015

.....
podpis autora

Bc. Ondřej Ehrenberger

Poděkování:

Největší dík zaslouží můj vedoucí práce Ing. Jan Perla za užitečné rady a cenné připomínky při zpracování diplomové práce. Další poděkování patří mým nejbližším, kteří mě při celém studiu podporovali.

OBSAH:

1	Úvod.....	9
2	Popis konstrukce	10
2.1	Technické řešení dilatační části.....	10
2.1.1	Základové konstrukce	10
2.1.2	Svislé konstrukce	10
2.1.3	Stropní konstrukce	10
2.1.4	Podlahy.....	10
2.1.5	Závěsný jeřáb	11
2.2	Popis porušení konstrukce.....	12
2.3	Návrh rekonstrukce stropní desky	12
2.3.1	Předpínací výztuž	12
2.3.2	Kotvy.....	13
2.3.3	Deviátory.....	13
2.4	Stavební postup	14
3	Materiály.....	16
4	Výpočtový model.....	18
5	Zatížení	19
5.1	Časové fáze působení zatížení na konstrukci	20
5.2	Kombinace zatížení	20
5.2.1	Mezní stav únosnosti.....	21
5.2.2	Mezní stav použitelnosti	21
6	Předpětí	22
6.1	Ztráty předpětí	22
6.2	Posouzení kotevní oblasti.....	22
7	Mezní stav únosnosti	24
8	Mezní stav použitelnosti	25

9 Závěr	26
Seznam použitých zdrojů.....	27
Seznam použitého software	28
Seznam použitých zkratek a symbolů	29
Seznam obrázků.....	32
Seznam příloh	33

1 Úvod

V diplomové práci budu řešit rekonstrukci železobetonové stropní desky s nadměrným průhybem vzniklým v průběhu realizace objektu. Stropní deska se nachází v samostatné dilatační části rozsáhlého objektu. Dilatační část je řešena jako nepodsklepený dvoupodlažní objekt složený z monolitické železobetonové stropní desky a stropní monolitické železobetonové desky, která je zároveň střešní deskou ve spádu 3%. Obvodový plášť objektu tvoří cihelné zděné tvárnice Porootherm, na kterých jsou železobetonové monolitické stropní desky volně uloženy. Má práce bude řešit rekonstrukci stropní železobetonové desky nad přízemím, dále značenou jako st4 dle prováděcího projektu.

Cílem statického výpočtu je posouzení stropní desky st4, která je porušena nadměrným průhybem. Pro zesílení stropní konstrukce bylo zvoleno dodatečné předpětí volně vedenými kabely. Konstrukce byla posouzena podle mezních stavů, při uvažování všech účinků, které na danou stropní desku působí.

2 Popis konstrukce

2.1 Technické řešení dilatační části

2.1.1 Základové konstrukce

Založení bylo provedeno formou železobetonových základových pasů, do úrovně nezámrazné hloubky 1,350 m a vnitřní základy do hloubky 1,150 m. Na základových pasech byla provedena podkladní betonová vrstva podlahy tl. 160 mm.

2.1.2 Svislé konstrukce

Svislé nosné konstrukce byly provedeny z keramického zdiva systému Porotherm. Vnitřní nosné zdivo tl. 300 (Porotherm 30 P+D) a obvodové zdivo tl. 450 mm (Porotherm 44 P+D) zatepleno 8 mm tepelné izolace. Byly použity cihly pevnosti P15 kladené na průmyslově vyráběnou maltu MC 5,0 MPa. Přízemí není dělené příčkami, ale v 2.NP jsou navrženy vnitřní dělicí příčky systému Porotherm tl. 150 a 100 mm.

2.1.3 Stropní konstrukce

Stropní deska st4 a střešní deska byly navrženy tl. 400 mm, přičemž střešní deska je vytvořena ve spádu 3 %. Desky jsou navrženy z betonu C 35/45 a vyztuženy betonářskou výztuží 10 505 (R) (viz příloha P2 Výkresová dokumentace).

2.1.4 Podlahy

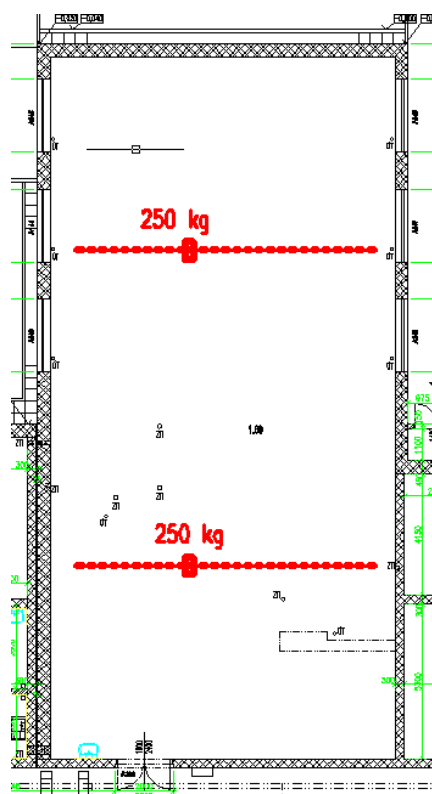
V přízemí byla vrchní nášlapná vrstva navržena jako průmyslová litá podlaha s protiskluzným povrchem. V 2.NP je nášlapná vrstva navržena jako přírodní korkové linoleum (standard Marmoleum).

2.1.5 Závěsný jeřáb

Pro tuto stavbu byl požadavek na dvě zvedací zařízení s únosností 250 kg. Zvoleny byly elektrické kladkostroje Yale typu CPV od společnosti Techlan. Nacházejí se v prostoru hangáru v 1.NP místnost číslo 1.60 – opravna. Jsou zavěšeny na spodním líci železobetonové stropní desky st4, půdorysně uspořádány viz Obr. 2. Jeden závěsný jeřáb se skládá z elektrického kladkostroje typu CPVF o nosnosti 250 kg viz Obr. 1, který popojíždí po spodní pásnici ocelového nosníku IPE 200.



Obr. 1 Závěsný jeřáb [11]



Obr. 2 Schéma uspořádání
závěsných jeřábů nad 1NP

Model	Nosnost v (kg) / počet pramenů řetězu	Rozměr řetězu d x t	Třída pohonu	Rychlost zdvihu (hlavní zdvih)	Rychlost zdvihu (mikro zdvih)	Motor zdvih. Mech.	Zatěžo- vatel	Váha Závěsný	Váha Mechan- ický pojezd	Váha Elektrický pojezd
		(mm)	FEM/ISO	(m/min)	(m/min)	(kW)	(ED%)	(kg)	(kg)	(kg)
CPVF 2-20	250/1	5 x 15.1	1Am/M4	20	5	0.75/0.18	33/17	27	42	50

Obr. 3 Technická data modelu CPVF [11]

Vhodný pro	Nosnost	Velikost	Šířka přiruby nosníku b	Tloušťka a přiruby t max.	Zakřivení dráhy	Rychlost pojezdu (m/min) při 50 Hz	Výkon motoru (kW) při 50Hz
od CPV 2-8 až po CPVF 10-4	1000 (kg)	A	58-180 (mm)	19 (mm)	0.9 (m)	18 nebo 18/4.5	0.18 nebo 0.18/0.06

Obr. 4 Technické údaje vozíku pojezdu [11]

2.2 Popis porušení konstrukce

Stropní deska st4 je porušena nadměrným nerovnoměrným průhybem, způsobeným nadměrným přetížením. Jedná se o novostavbu, kdy stropní deska st4 byla po plném odbednění a částečném odstojkování, zatížena betonáží střešní monolitické železobetonové desky. Další stavební práce byly pozastaveny, takže na stropní desce nebyly provedeny podlahy ani dělicí příčky.

Měřením bylo zjištěno, že spodní líc stropní desky vykazoval průhyb střední části desky oproti uložení desky na zdi až 55 mm.

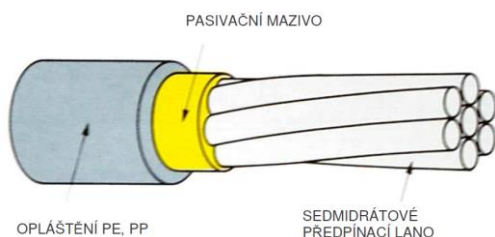
2.3 Návrh rekonstrukce stropní desky

Pro zesílení stropní desky st4 byl zvolen návrh zesílení dodatečným předpětím volnými lany Monostrand, které budou napínány z jednoho konce. Dodatečně předpjaté lana vnášejí do konstrukce požadované síly, působící proti silám vyvozených stálými a proměnnými složkami zatížení. Tento způsob zesílení oproti lepené neaktivované výztuži, která nepřenáší stálé zatížení, působí po vnesení předpětí do konstrukce okamžitě a podílí se na přenosu sil od stálého zatížení, dříve než je konstrukce zatížena užitným zatížením. (Viz příloha P2 Výkresová dokumentace)

2.3.1 Předpínací výztuž

Pro dodatečné předpětí budou použita sedmidrátová stabilizovaná lana $\phi 15,7$ mm typu Monostrand systému Freyssinet s jmenovitou pevností v tahu 1860 MPa. Lana budou předepnuta na předpínací sílu 221,4 kN. Lana typu Monostrand jsou potažena povlakem z PE (polyetylenem) a mezery mezi lanem a trubkou jsou vyplněny plastickým pasivačním mazivem. Mazivo minimalizuje tření při napínání lana a ztráty způsobené třením se

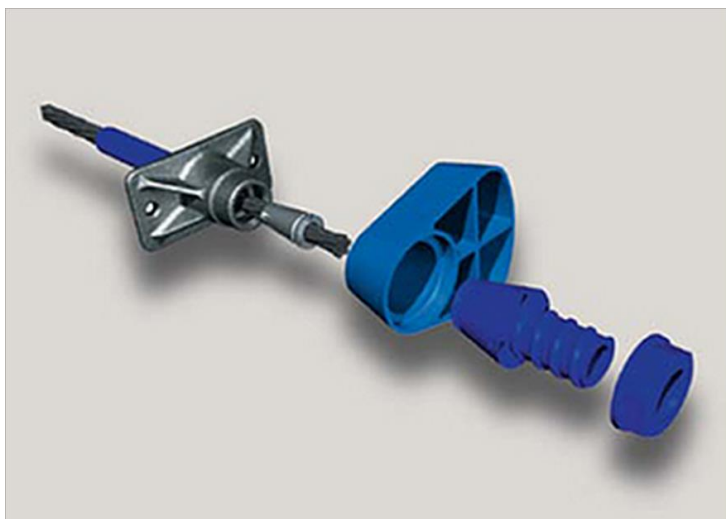
minimalizují. Toto opatření nám též umožňuje vést lana volně, aniž by podléhala korozi. Vnější průměr lana Monostrand je 20 mm.



Obr. 5 Předpinací lano typu Monostrand ([4] 2.2.1-Obr. 2.14)

2.3.2 Kotvy

Byly navrženy zapouzdřené poplastované jednolanové kotvy 1F15 systému Freyssinet viz Obr. 6



Obr. 6 Jednolanová kotva systému Freyssinet [10]

2.3.3 Deviátory

Lana jsou v konstrukci vedeny zakřiveně, proto je nutno na spodní líc stropní desky osadit ocelové deviátory, které zaoblí vedení lana v místě zlomů. Velikost deviátorů je závislá na úhlu změny trajektorie a poloměru zakřivení lana. Přes každý deviátor prochází dvě lana v osové vzdálenosti 160 mm, které musí být napínány současně.

2.4 Stavební postup

Vrtání náhradních kabelových kanálků

Pro umístění jednoho lana vrtání šikmého vrtu stropní železobetonovou deskou st4 $\phi 35$ mm tvrdokovem. Vrtání kabelových kanálků probíhá ze spodního líce stropní desky, na kterém je vrtací zařízení upevněno ve speciálně navrženém polohovacím zařízení, které umožňuje přesné úhlové natočení vrtaných kabelových kanálků. Přesnost vedení vrtů je důležitá pro správné vnesení sil od předpětí do konstrukce.

Osazení deviátorů

Před osazením deviátorů se upraví zabroušením spodní líc stropní desky a konečné nerovnosti budou vyrovnány vysokopevnostní maltou Groutex Pac. Konstrukce deviátoru bude ukotvena dvěma samořeznými šrouby do betonu FBS 10/15 S /SW18.

Úprava kotevních oblastí

V kotevní oblasti je nutné provést s vysokou přesností dosedací plochu kotevní desky. Nerovnosti po upravení dosedací plochy budou vyrovnány vysokopevnostní maltou Groutex Pac tl. 2 mm, do které bude kotva osazena po 24 hodinách tuhnutí malty. Nutné dodržení kolmosti mezi osou předpínacího lana a dosedací plochy roznášecí plochy. Kotevní oblasti budou provedeny vysekáváním, vyřezáváním a broušením plochy stávající konstrukce (dle přílohy P2 výkresová dokumentace) až na svislé čelo betonové desky. Svislé kolmé čelo betonové desky bude zabroušeno a do vysokopevnostní malty Groutex Pac tl. 2 mm (24 hodin po ztuhnutí malty) bude osazena klínová kotevní deska chráněná antikoročním nátěrem.

Předpínání lan

Lana protažená náhradními kabelovými kanálky budou napínána z jednoho konce. Nejprve ručně zakotvím lano v místě pasivní kotvy zatáhnutím do kuželíku a na aktivní kotvě začnu napínat předpínací zařízením. V pasivní kotvě se zatahuje kuželík a protahuji lano, čímž se mi zároveň vytahuje lano. Napětí v předpínacím zařízením podržím po dobu 5 minut a zároveň musím kontrolovat hodnotu vytažení lana. Předpínací lana budou předpjata na maximální předpínací sílu $P_{max} = 221,40$ kN. Na každém deviátoru jsou uložena dvě lana, která budou napínána současně jednolanovým napínacím zařízením.

Zainjektování náhradních kabelových kanálků a úprava kotevních oblastí

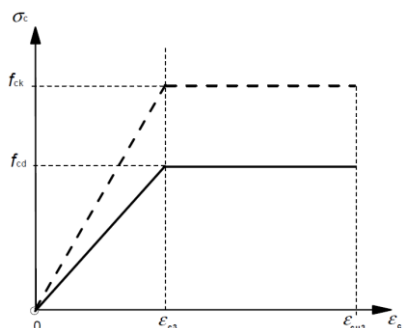
Zainjektování bude provedeno nízkotlakou cementovou injektáží. Vyplnění náhradních kanálků injektáží se provádí z důvodů ochrany obnažené konstrukce před účinky koroze. Poté se upraví kotevní oblasti obetonováním betonem s expanzní přísadou, dozděním vybouraných stěn a opravou porušených podlahových konstrukcí

3 Materiály

Beton C 35/45

Charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku	$f_{ck}=$	35 MPa
Charakteristická krychelná pevnost betonu v tlaku	$f_{ck,cube}=$	45 MPa
Průměrná hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku	$f_{cm}=$	43 MPa
Průměrná hodnota pevnosti betonu v dostředném tahu	$f_{ctm}=$	3,2 MPa
	$f_{ctk,0,05}=$	2,2 MPa
Sečnový modul pružnosti	$E_{cm}=$	34000 MPa
Poměrné přetvoření betonu při dosažení max. napětí		
f_c	$\varepsilon_{c2}=$	2 ‰
Mezní poměrné přetvoření betonu	$\varepsilon_{cu2}=$	3,5 ‰
Návrhová pevnost v tlaku	$f_{cd}=a_{cc}*f_{ck}/\gamma_c=$	23,333 MPa
	$a_{cc}=$	1
	$f_{ck}=$	35 MPa
	$\gamma_c=$	1,5

Při posouzení byl použit bilineární pracovní diagram viz. obr. 09



Obr. 7 Bilineární pracovní diagram pro beton namáhaný tlakem ([8] odstavec 3.1.7, obr. 3.4)

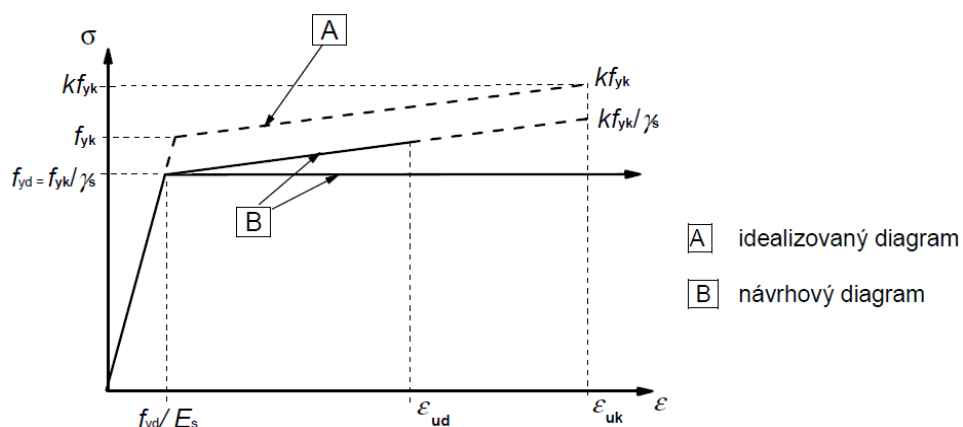
Betonářská výztuž 10 505 (dle EN B 490)

Charakteristická mez kluzu	$f_{yk}=$	490 MPa
Návrhová hodnota modulu pružnosti	$E_s=$	200 GPa
Návrhová pevnost betonářské výztuže	$f_{yd}=f_{yk}/\gamma_s=490/1,15=$	426,087 MPa
	$\gamma_s=$	1,15

Charakteristická mez pevnosti	$f_{tk}=$	550 MPa
	$\varepsilon_{yd}=$	2,1304 ‰
	$\varepsilon_{uk}=$	5 ‰
	$\varepsilon_{ud}=0,9*\varepsilon_{uk}=0,9*5=$	4,5 ‰
	$k=f_{tk}/f_{yk}=550/490=$	1,1224

Krytí betonářské výztuže je stanoveno projektem $c=30$ mm

Při posouzení byl použit pracovní diagram betonářské oceli (pro tlak i tah) se stoupající horní větví viz. obr. 06



Obr. 8 - Schéma pracovních diagramů betonářské oceli ([8] odstavec 3.2.7)

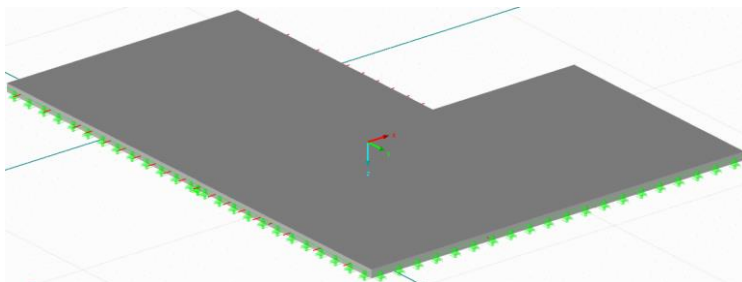
Předpínací výztuž Y1860 S7 - 15,7

Charakteristická pevnost v tahu	$f_{pk}=$	1860 MPa
Charakteristická smluvní mez kluzu 0,1 %	$f_{po,1k}=$	1640 MPa
Modul pružnosti	$E_p=$	195000 MPa
Průměr jednoho lana	$\varphi=$	15,7 mm ²
Plocha jednoho lana	$A_p=$	0,00015 m ²

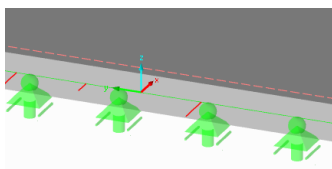
Pro předpínací výztuž byly vypočteny maximální napětí při předpínání a bezprostředně po vnesení předpětí do betonu.

4 Výpočtový model

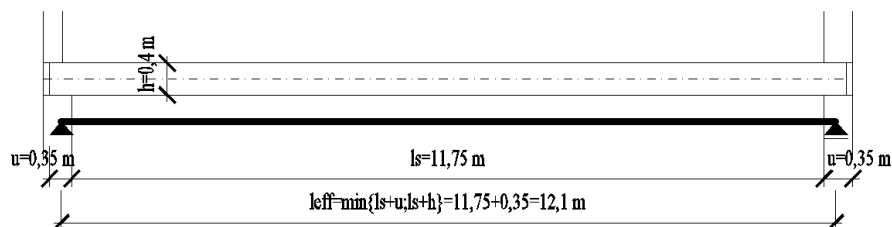
Jako výpočtový software byl použit program RFEM 5.02, kde byla vytvořena deska ve 3D uložená na liniových podporách.



Obr. 9 Stropní deska modelovaná v programu RFEM



Obr. 10 Řešení uložení stropní desky



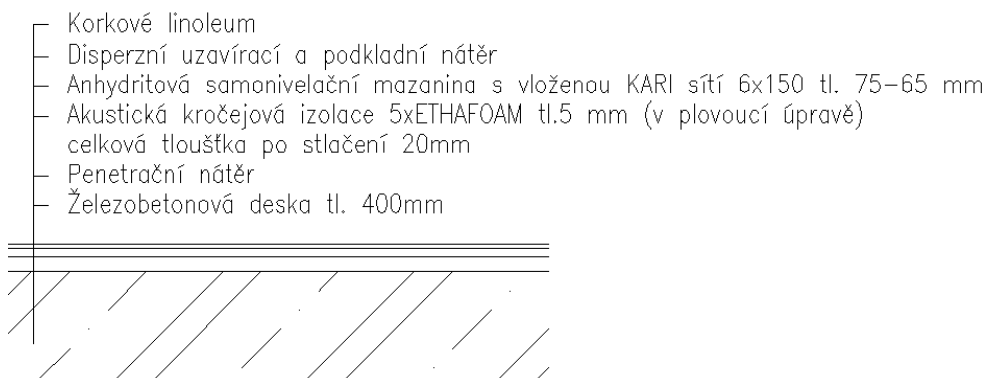
Obr. 11 Statické řešení uložení stropní desky

5 Zatížení

Stropní deska byla zatížena stálým a proměnným zatížením dle ČSN EN 1991-1-Zatížení konstrukcí.

Stálé zatížení se skládá z vlastní tíhy konstrukce, která byla generována výpočtovým programem RFEM.

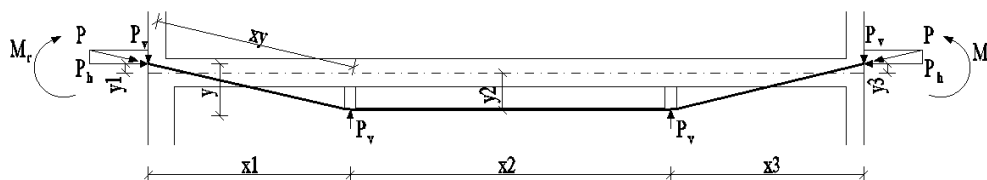
Do ostatních stálých zatížení patří vyrovnaní průhybu železobetonové stropní desky st4 zadané jako volné polygonové zatížení. Skladba podlahy je zadána jako plošné zatížení viz. Obr. 12. Příčky, které člení prostor 2.NP a IPE profily vynášející závěsný jeřáb byly přepočítány na liniové zatížení.



Obr. 12 Skladba podlahy

Proměnné zatížení je zadáváno hodnotou užitého zatížení na stropní konstrukci $q_k=3,00 \text{ kN/m}^2$ – kategorie C1 a tíhou břemene závěsného jeřábu $Q_k=2,50 \text{ kN}$.

Účinky od předpětí jsou přepočítány na silové působení, kdy do konstrukce vnáší svíslé síly a momenty viz Obr. 13. Vždy jsou sdruženy do jedné hodnoty obě lana, které jsou uloženy na společném deviátoru.



Obr. 13 Zatížení od předpětí

5.1 Časové fáze působení zatížení na konstrukci

V čase $t=90$ dní

Jedná se o montážní stav konstrukce, kdy bylo vneseno předpětí do stropní desky. Působí vlastní tíha stropní desky a předpětí po krátkodobých ztrátách

V čase $t=110$ dní

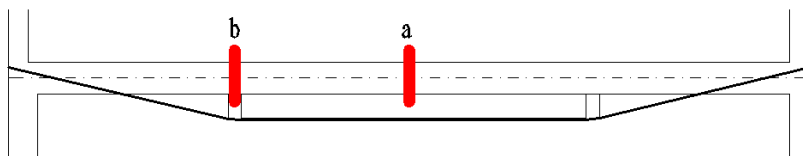
Čas realizace dělicích příček, které prostorově dělí 2.NP. Působí vlastní tíha stropní desky, vyrovnávací deska počátečního průhybu stropní desky, skladba podlahy, dělicí příčky 2.NP a předpětí po částečných dlouhodobých ztrátách v čase $t=110$ dní.

V čase $t_{\infty}=50$ let

Konec životnosti konstrukce, kdy na stropní desku působí vlastní tíha, ostatní stálé zatížení, proměnné zatížení a předpětí po dlouhodobých ztrátách.

5.2 Kombinace zatížení

Kombinace jednotlivých účinků zatížení byly provedeny ve výpočetním programu RFEM kombinací výsledků. Kombinace byly sestaveny pro všechny časové fáze působení zatížení na konstrukci. V čase 50 let a 110 dní rozhodují hodnoty uprostřed rozpětí (a) a pro montážní čas v 90 dnech rozhodují hodnoty jak uprostřed rozpětí (a), tak hodnoty v místě deviátorů (b), kde dochází k přenosu sil od dodatečného předpětí do konstrukce.



Obr. 14 Rozhodující průřezy při posouzení stropní desky

Hodnoty kombinačních součinitelů

Stálé účinky

$$\gamma_{G,j,\text{sup}} = 1,35$$

$$\gamma_{G,j,\text{inf}} = 1,00$$

Nahodilé účinky

$$\gamma_{Q,j} = 1,50 \text{ pro nepříznivé (0 pro příznivé)}$$

$$\gamma_{Q,i} = 1,50 \text{ pro nepříznivé (0 pro příznivé)}$$

$$\xi = 0,85$$

Kategorie C: shromažďovací plochy

$$\psi_0 = 0,7$$

$$\psi_1 = 0,7$$

$$\psi_2 = 0,6$$

5.2.1 Mezní stav únosnosti

Trvalé a dočasné návrhové situace	Stálá zatížení		Hlavní proměnné zatížení (*)	Vedlejší proměnná zatížení (*)	
	nepříznivá	příznivá		nejúčinnější	ostatní
(Výraz 6.10a)	$\gamma_{G,j,\text{sup}} G_{k,j,\text{sup}}$	$\gamma_{G,j,\text{inf}} G_{k,j,\text{inf}}$		$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
(Výraz 6.10b)	$\xi \gamma_{G,j,\text{sup}} G_{k,j,\text{sup}}$	$\gamma_{G,j,\text{inf}} G_{k,j,\text{inf}}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

Tab. 5 Rovnice 6.10.a a 6.10.b pro návrhové hodnoty zatížení (STR/GEO) [7] Příloha A1-
Tabulka A1.2(B)

5.2.2 Mezní stav použitelnosti

Kombinace	Stálá zatížení G_d		Proměnná zatížení Q_d	
	nepříznivá	příznivá	hlavní	vedlejší
Charakteristická	$G_{k,j,\text{sup}}$	$G_{k,j,\text{inf}}$	$Q_{k,1}$	$\psi_{0,i} Q_{k,i}$
Častá	$G_{k,j,\text{sup}}$	$G_{k,j,\text{inf}}$	$\psi_{1,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$
Kvazistálá	$G_{k,j,\text{sup}}$	$G_{k,j,\text{inf}}$	$\psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$

Tab. 6 Rovnice pro mezní stavy použitelnosti [7] Příloha A1-Tabulka A1.4

6 Předpětí

Vnesením předpětí do konstrukce se snažím vyrovnat nadměrný průhyb stropní desky. Cílem je vyrovnat alespoň 30 % průhybu konstrukce. Zbývající část průhybu, který mi vyvozuje zakřivení horního líce stropní desky, vyrovnám betonovou vrstvou do vodorovné roviny. Při volbě výšky deviátoru jsme omezeni sádkartonových podhledem, který je 0,5 m pod spodním lícem stropní desky.

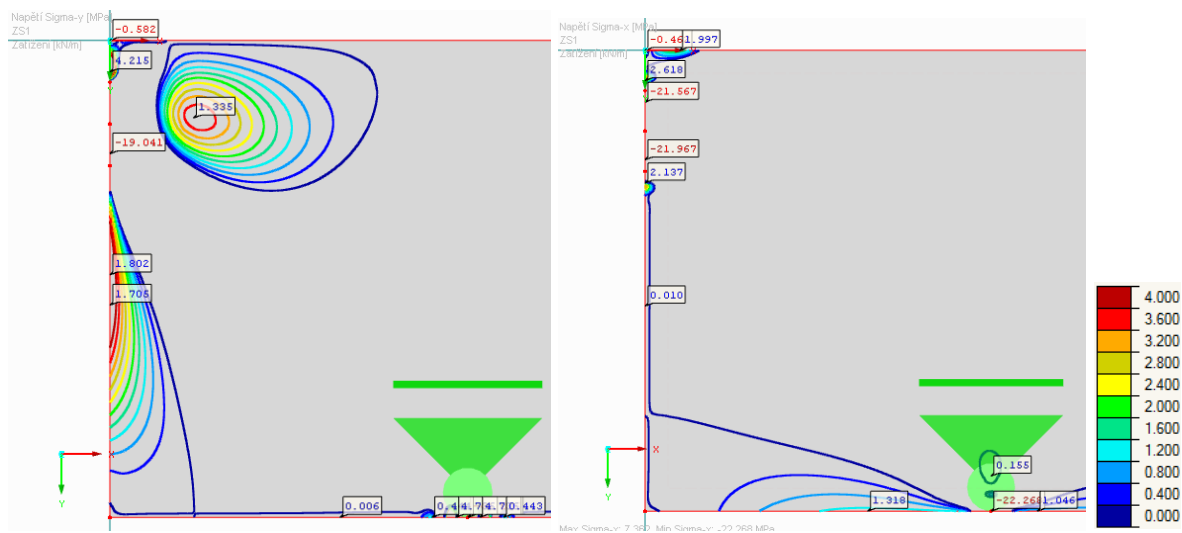
6.1 Ztráty předpětí

Byly uvažovány krátkodobé (v čase $t=90$ dní) a dlouhodobé ztráty ($t_{\infty}=50$ let) pro lana typu Monostrand systému Freyssinet. Lana Y1860 S7 15,7 s relaxací při 1000 hod. a 70 % P_{ma} max. 2,5 %. Vyčísleny byly též ztráty předpětí v čase $t=110$ dní, bezprostředně po dokončení příček v 2.NP.

- Krátkodobé ztráty
 - Ztráta třením
 - Ztráta pokluzem v kotvě a dotlačením kotvy na kotevní klín a maltové lože
 - Ztráta relaxací výztuže (krátkodobá část)
- Dlouhodobé ztráty
 - Ztráta okamžitým pružným přetvořením betonu
 - Ztráta relaxací předpínací výztuže (dlouhodobá část)
 - Ztráta smršťováním
 - Ztráta dotvarováním

6.2 Posouzení kotevní oblasti

Ve výpočetním programu RFEM byl vytvořen model ve 2D pro zjištění velikosti napětí v kotevní oblasti. Vzhledem k tomu, že konstrukce je již vyztužena, jednalo se o posouzení, zda dané výztuže přenesou tahové napětí v kotevní oblasti a nebude docházet k tahovému porušení.



Obr. 17 Napětí v kotevní oblasti, výstup RFEM

7 Mezní stav únosnosti

Stropní konstrukci namáhanou ohybem byla posuzována ve dvou časech. První posouzení v čase $t=90$ dní (montážní stav), kdy je do konstrukce vneseno předpětí zmenšené o krátkodobé ztráty a působí pouze vlastní tíha stropní desky. Druhé posouzení odpovídá konci životnosti konstrukce $t_{\infty}=50$ let, kdy na konstrukci působí předpětí zmenšené o dlouhodobé ztráty, vlastní tíha stropní desky, ostatní stálé zatížení a proměnná zatížení.

Posudek byl proveden podle vztahu $M_{rd} \geq M_{ed}$ (moment na mezi únosnosti musí být větší než návrhová hodnota ohybového momentu).

Moment na mezi únosnosti byl vyčíslen z daného oboustranného vyztužení stropní desky. Výpočet je založen na splnění silové podmínky rovnováhy:

$$N = F_{s1} + F_{s2} + F_c$$

Za pomoci programu Excel byla hledána výška tlačené oblasti, tak aby tato rovnice platila. Uvažováno bylo poměrné přetvoření výztuže a krajní tlačená vlákna v betonu, podle kterých byly vyčísleny tahové a tlakové síly působící na průřez.

Návrhová hodnota ohybového momentu se zvětšila o ohybový moment prvního a druhého řádu. Účinky prvního řádu se vyšetřují na deformované konstrukci, při uvážení geometrických imperfekcí. Na stropní desce st4 došlo k výstřednosti tvaru střednice od nadměrného zatížení, způsobeného betonáží stropní konstrukce v 2.NP. Účinky druhého řádu jsou přídatné účinky zatížení vyvolané deformací konstrukce.

8 Mezní stav použitelnosti

Z hlediska mezního stavu použitelnosti bylo posuzováno omezení napětí a omezení průhybu.

Omezení napětí

Omezení napětí bylo posuzováno dle ČSN EN 1992-1-1. Pro charakteristickou kombinaci zatížení, musí napětí betonu v tlaku v konstrukci omezeno podle vztahu:

$$\sigma_c \leq 0,6 \cdot f_{ck}(t)$$

Je možné uvažovat lineární dotvarování, pokud pro tlakové napětí od kvazi stálé kombinaci platí:

$$\sigma_c \leq 0,45 \cdot f_{ck}(t)$$

Napětí v přepínací vložce bezprostředně po napnutí nesmí překročit hodnotu $0,75 \cdot f_{pk}$ nebo $0,85 \cdot f_{p0,1k}$.

Omezení průhybu

Byla posuzována hodnota maximálního průhybu v čase od budování příček na stropní konstrukci (110 dní) do konce životnosti konstrukce (50 let). Tato hodnota průhybu je omezena hodnotou $L/650$.

9 Závěr

V diplomové práci byl proveden návrh zesílení stropní desky, která byla porušena nadměrným průhybem vniklým při realizaci dvoupodlažního objektu. Bylo navrženo dodatečné předepnutí volně vedenými předpínacími lany typu Monostrand. Konstrukce byla modelována ve výpočtovém programu RFEM a posouzena podle evropských norem.

Stropní konstrukce byla posouzena na mezní stav únosnosti v montážním stavu, ihned po vnesení předpětí do konstrukce a na konci živostnosti konstrukce. Další posouzení bylo vypočteno na mezní stav únosnosti, kdy bylo ověřeno působení tlačené a tažené části stropní konstrukce. Podmínkou bylo ověření omezení průhybu konstrukce, stanovené pro konstrukce se zabudovanými příčkami. Bylo ověřeno, že zesílená konstrukce vyhovuje na mezní stav únosnosti i použitelnosti.

Seznam použitých zdrojů

- [1] NAVRÁTIL, J. *Předpjaté betonové konstrukce*. vyd. Brno: CERM, 2006.
- [2] NAVRÁTIL, J. a ZICH, M. *Předpjatý beton*, průvodcem předmětem BL11, modul P01, studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia, Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2006.
- [3] STĚPÁNEK, P. a ZMEK, B. *Prvky betonových konstrukcí*, modul CM4, Dimenzování betonových prvků – část 3, studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2005.
- [4] KLUSÁČEK, L. *Zesilování konstrukcí dodatečným předpínáním kabely v náhradních kanálcích a drážkách*, Teze habilitační práce, obor konstrukce a dopravní stavby, Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2009.
- [5] HOLICKÝ, M., MARKOVÁ, J., SÝKORA, M. *Zatížení stavebních konstrukcí příručka k ČSN EN 1991*. Praha: informační centrum ČKAIT, 2010.
- [6] PROCHÁZKA, J., ŠMEJKAL, J., VÍTEK, L. J., VAŠKOVÁ, J. *Navrhování betonových konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1992-1-2*. Praha: informační centrum ČKAIT, 2010.
- [7] ČSN EN 1990 ed. 2 (73 0002). *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [8] ČSN EN 1992-1-1. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: obecná pravidla pro pozemní stavby*. Praha : Český normalizační institut, 2006.
- [9] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha : Český normalizační institut, 2004.
- [10] Freyssinet. [online]. [cit. 2015-01-14]. Dostupné z: <http://www.freyssinet.cz/>
- [11] Techlan. [online]. [cit. 2015-01-14]. Dostupné z: <http://www.techlan.cz>
- [12] Použitelnost. [online]. [cit. 2015-01-14]. Dostupné z: <http://web.cvut.cz/ki/files/Betkon7.pdf>

Seznam použitého software

Dlubal RFEM 5.02

Autodesk AutoCAD 2011

Microsoft Excel 2010

Microsoft Word 2010

Seznam použitých zkratk a symbolů

G	stálé zatížení
$G_{k,j,\text{sup}}$	horní charakteristická hodnota j -tého stálého zatížení
$G_{k,j,\text{inf}}$	dolní charakteristická hodnota j -tého stálého zatížení
Q	proměnné zatížení
Q_k	charakteristická hodnota proměnného zatížení
$Q_{k,1}$	charakteristická hodnota hlavního proměnného zatížení, 1
$Q_{k,i}$	charakteristická hodnota vedlejšího i -tého proměnného zatížení
γ	dílčí součinitel (bezpečnosti nebo použitelnosti)
$\gamma_{G,j,\text{sup}}$	dílčí součinitel j -tého stálého zatížení pro výpočet horních návrhových hodnot
$\gamma_{G,j,\text{inf}}$	dílčí součinitel j -tého stálého zatížení pro výpočet dolních návrhových hodnot
ξ	redukční součinitel
ψ_0	součinitel pro kombinační hodnotu proměnného zatížení
ψ_1	součinitel pro častou hodnotu proměnného zatížení
ψ_2	součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení
A	průřezová plocha
A_c	průřezová plocha betonu
A_p	průřezová plocha předpínacích vložek, popř. předpínací vložky
A_s	průřezová plocha betonářské výztuže
E_c	tečnový modul pružnosti betonu
$E_{c,\text{eff}}$	účinný modul pružnosti betonu
E_{cm}	sečnový modul pružnosti betonu
E_p	návrhová hodnota modulu pružnosti předpínací oceli
E_s	návrhová hodnota modulu pružnosti betonářské oceli
I	moment setrvačnosti průřezu
M_{ed}	návrhová hodnota působícího vnitřního ohybového momentu
N_{ed}	návrhová hodnota působící normálové síly (tah nebo tlak)
P	předpínací síla
S	statický moment
b	celková šířka průřezu
e	výstřednost; excentricita

f_c	pevnost betonu v tlaku
f_{cd}	návrhová pevnost betonu v tlaku
f_{ck}	charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku ve stáří 28 dní
f_{cm}	průměrná hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku
f_{ctk}	charakteristická pevnost betonu v dostředném tahu
f_{ctm}	průměrná hodnota pevnosti betonu v dostředném tahu
f_p	pevnost předpínací oceli v tahu
f_{pk}	charakteristická pevnost předpínací oceli v tahu
$f_{p0,1k}$	charakteristická smluvní mez kluzu 0,1 % předpínací oceli
f_{tk}	charakteristická pevnost v tahu betonářské výztuže
f_{yd}	návrhová mez kluzu betonářské výztuže
f_{yk}	charakteristická mez kluzu betonářské výztuže
h	výška
i	poloměr setrvačnosti
k	součinitel
r	poloměr
$1/r$	křivost ohybové čáry v určitém průřezu
t	tloušťka
t	uvažovaný časový okamžik
u	obvod betonového průřezu o ploše A_c
x	vzdálenost neutrální osy od nejvíce tlačného okraje
x,y,z	souřadnice
z	rameno vnitřních sil
γ_C	dílčí součinitel betonu
γ_P	dílčí součinitel zatížení od předpětí P
γ_Q	dílčí součinitel proměnného zatížení Q
γ_S	dílčí součinitel betonářské nebo předpínací oceli
ϵ_c	poměrné stlačení betonu
ϵ_{c2}	poměrné stlačení betonu při dosažení maximálního napětí f_c
ϵ_{cu}	mezní poměrné stlačení betonu
ϵ_u	poměrné přetvoření betonářské nebo předpínací oceli při maximálním zatížení
ϵ_{uk}	charakteristické poměrné přetvoření betonářské oceli při maximálním zatížení

θ	úhel
λ	štíhlostní poměr
μ	součinitel tření předpínací vložky o stěny kanálků (trubek)
ξ	poměr pevností v soudržnosti předpínací a betonářské výztuže
ρ	objemová hmotnost vysušeného betonu v kg/m ³
ρ_{1000}	hodnota ztráty relaxací (v %) 1000 hodin po napnutí při průměrné teplotě 20 °C
σ_c	tlakové napětí v betonu
ϕ	průměr prutu betonářské výztuže nebo kanálku pro přepínací vložku součinitel dotvarování, kterým se definuje dotvarování mezi okamžiky t a t ₀ ,
$\phi(t, t_0)$	vztažený k pružné deformaci betonu ve stáří 28 dní
$\phi(\infty, t_0)$	konečná hodnota součinitele dotvarování

Seznam obrázků

Obr. 1 Závěsný jeřáb	11
Obr. 2 Schéma uspořádání závěsných jeřábů nad 1NP	11
Obr. 3 Technická data modelu CPVF [11]	11
Obr. 4 Technické údaje vozíku pojezdu [11]	12
Obr. 5 Předpínací lano typu Monostrand ([4] 2.2.1-Obr. 2.14).....	13
Obr. 6 Jednolanová kotva systému Freyssinet [10]	13
Obr. 7 Bilineární pracovní diagram pro beton namáhaný tlakem ([8] odstavec 3.1.7,obr. 3.4)	16
Obr. 8 - Schéma pracovních diagramů betonářské oceli ([8] odstavec 3.2.7)..	17
Obr. 9 Stropní deska modelovaná v programu RFEM	18
Obr. 10 Řešení uložení stropní desky	18
Obr. 11 Statické řešení uložení stropní desky	18
Obr. 12 Skladba podlahy	19
Obr. 13 Zatížení od předpětí.....	19
Obr. 14 Rozhodující průřezy při posouzení stropní desky	20
Obr.15 Rovnice 6.10.a a 6.10.b pro návrhové hodnoty zatížení (STR/GEO) [7] Příloha A1- Tabulka A1.2(B)	21
Obr.16 Rovnice pro mezní stavy použitelnosti [7] Příloha A1-Tabulka A1.4.	21
Obr. 17 Napětí v kotevní oblasti, výstup RFEM	23

Seznam příloh

P1 Použité podklady

P2 Výkresy

P3 Statický výpočet